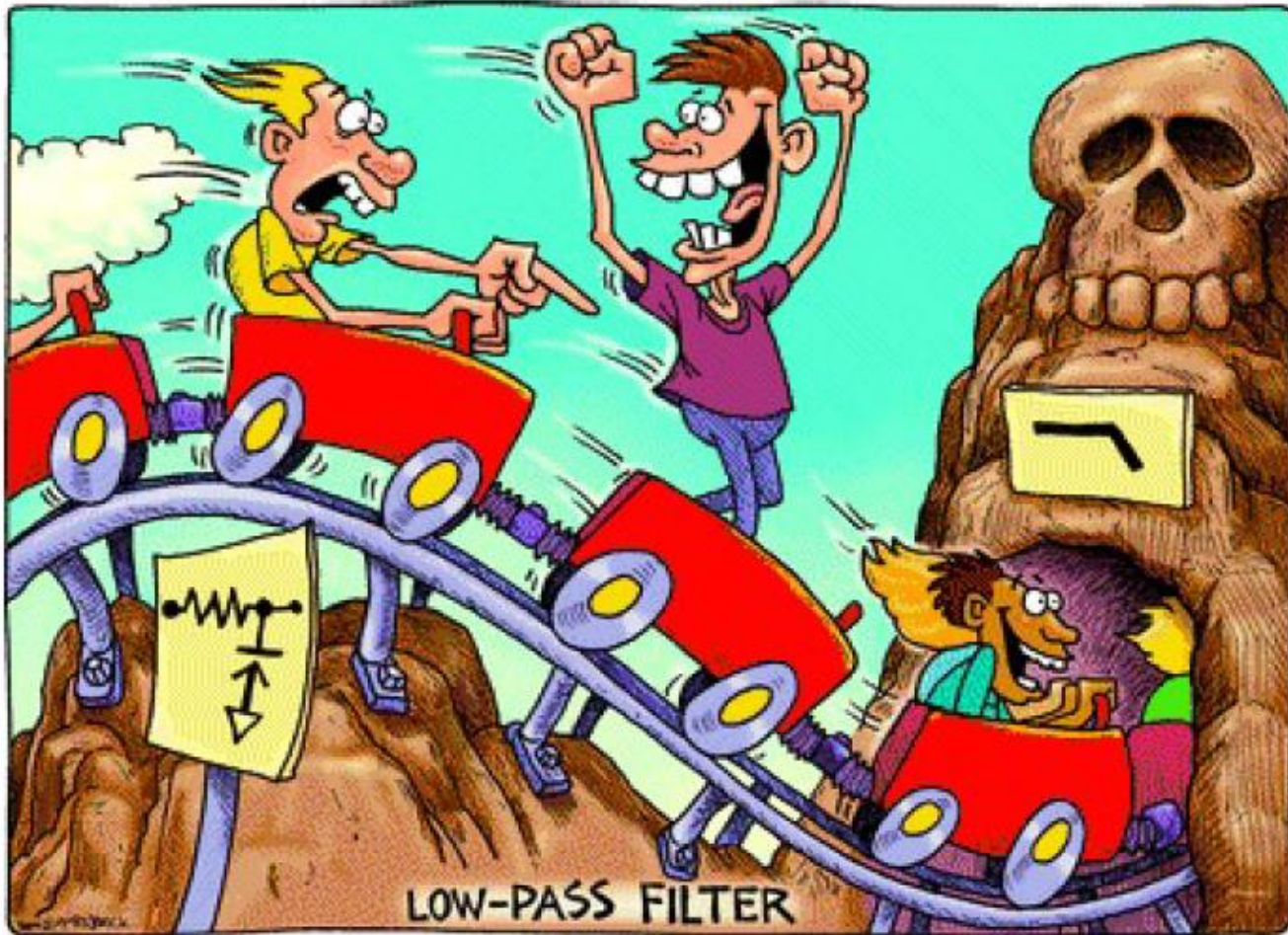


Revisão

- ✓ Transistores MOS
- ✓ Transistores Bipolares
- Resposta em Frequência
- Amplificadores

Resposta em Frequência

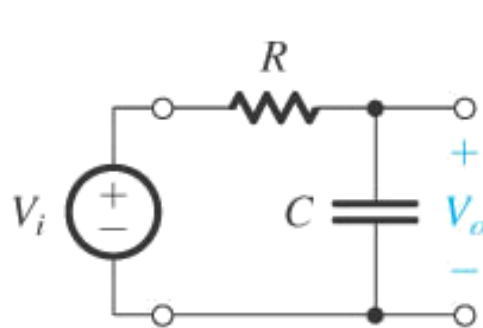
Filtro Passa-Baixa



<http://www.home.agilent.com/agilent/editorial.jsp?id=875011&NEWCCCLC=INeng>

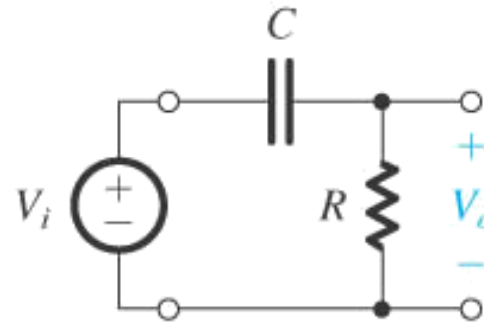
Resposta em Frequência

Redes CTS (constante de tempo simples)



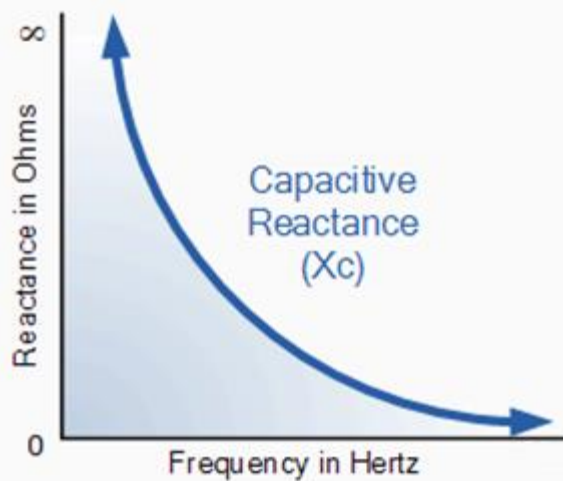
(a)

Rede passa-baixas



(b)

Rede passa-altas



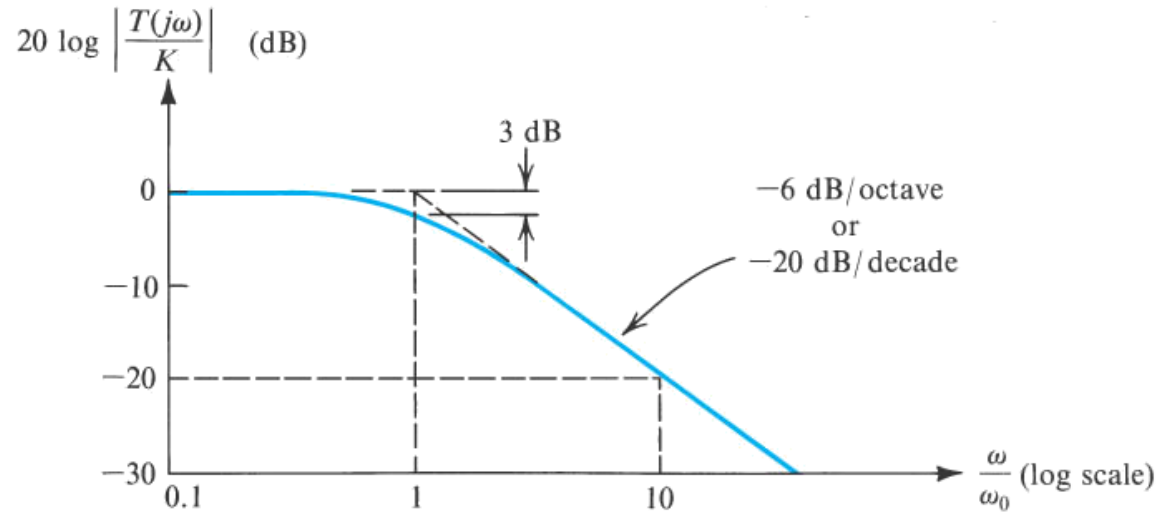
Resposta em Frequência

Respostas em Freq. das Redes CTS

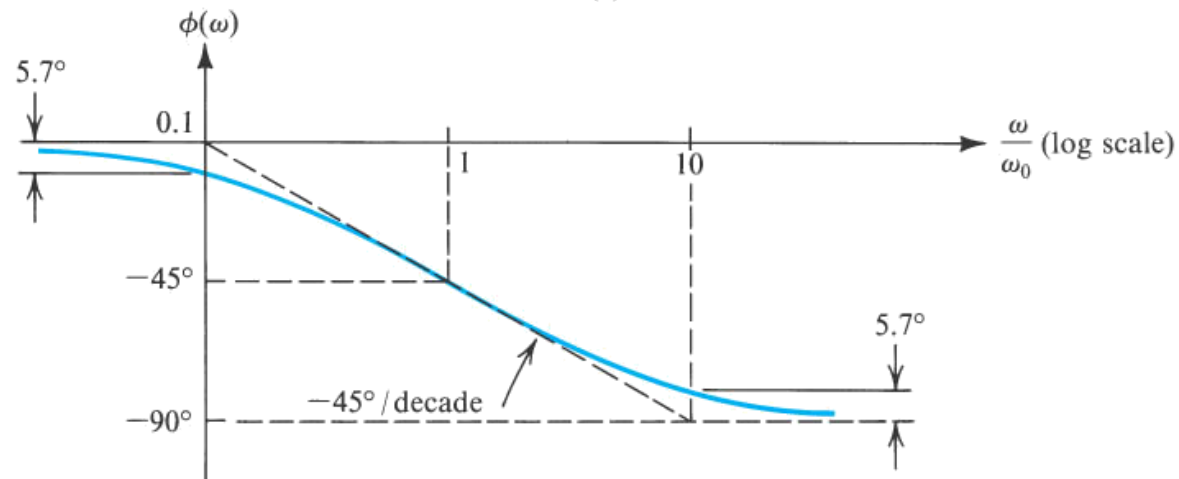
	Passa-baixas (PB)	Passa-altas (PA)
Função de transferência $T(s)$	$\frac{K}{1 + (s/\omega_0)}$	$\frac{Ks}{s + \omega_0}$
Função de transferência (em regime permanente senoidal) $T(j\omega)$	$\frac{K}{1 + j(\omega/\omega_0)}$	$\frac{K}{1 - j(\omega_0/\omega)}$
Resposta em módulo $ T(j\omega) $	$\frac{ K }{\sqrt{1 + (\omega/\omega_0)^2}}$	$\frac{ K }{\sqrt{1 + (\omega_0/\omega)^2}}$
Resposta em fase $\angle T(j\omega)$	$-\tan^{-1}(\omega/\omega_0)$	$\tan^{-1}(\omega_0/\omega)$
Transmissão para $\omega = 0$ (cc)	K	0
Transmissão para $\omega = \infty$	0	K
Frequência de 3 dB	$\omega_0 = 1/\tau$; $\tau \equiv$ constante de tempo $\tau = CR$ ou L/R	

Resposta em Frequência

Amplitude (a) e fase (b) de uma rede CTS **PB**



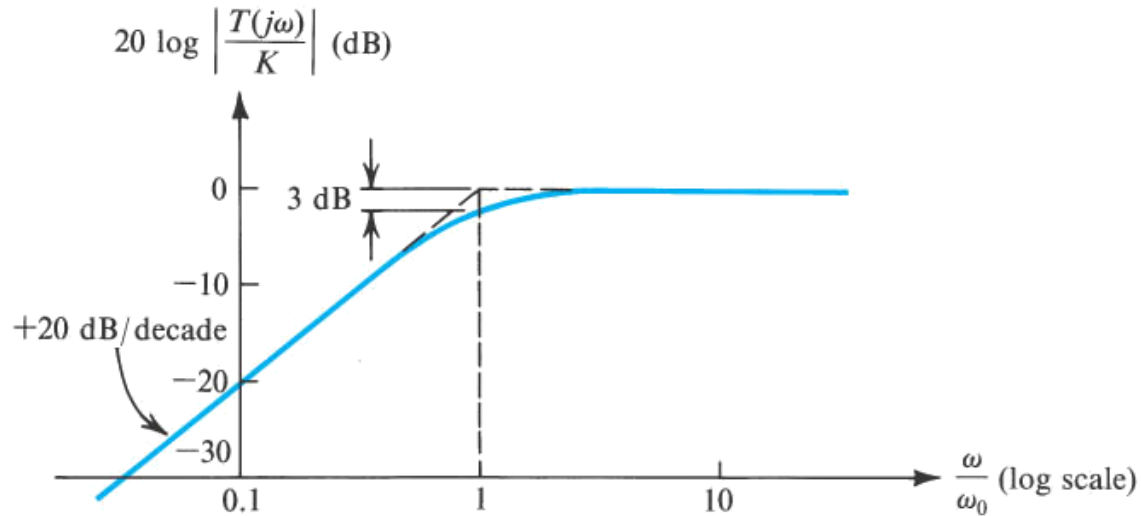
(a)



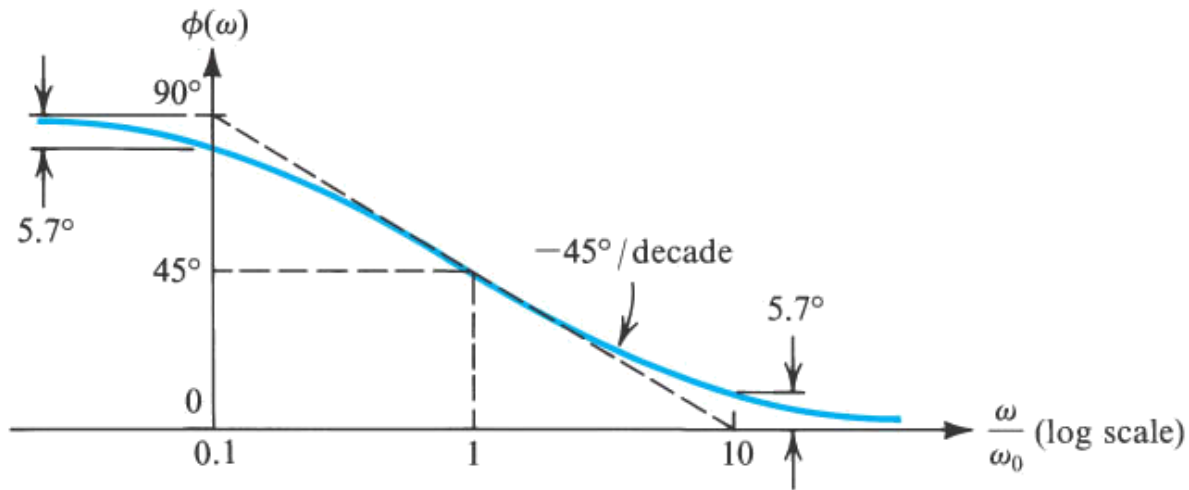
(b)

Resposta em Frequência

Amplitude (a) e fase (b) de uma rede CTS PA



(a)



(b)

Resposta em Frequência

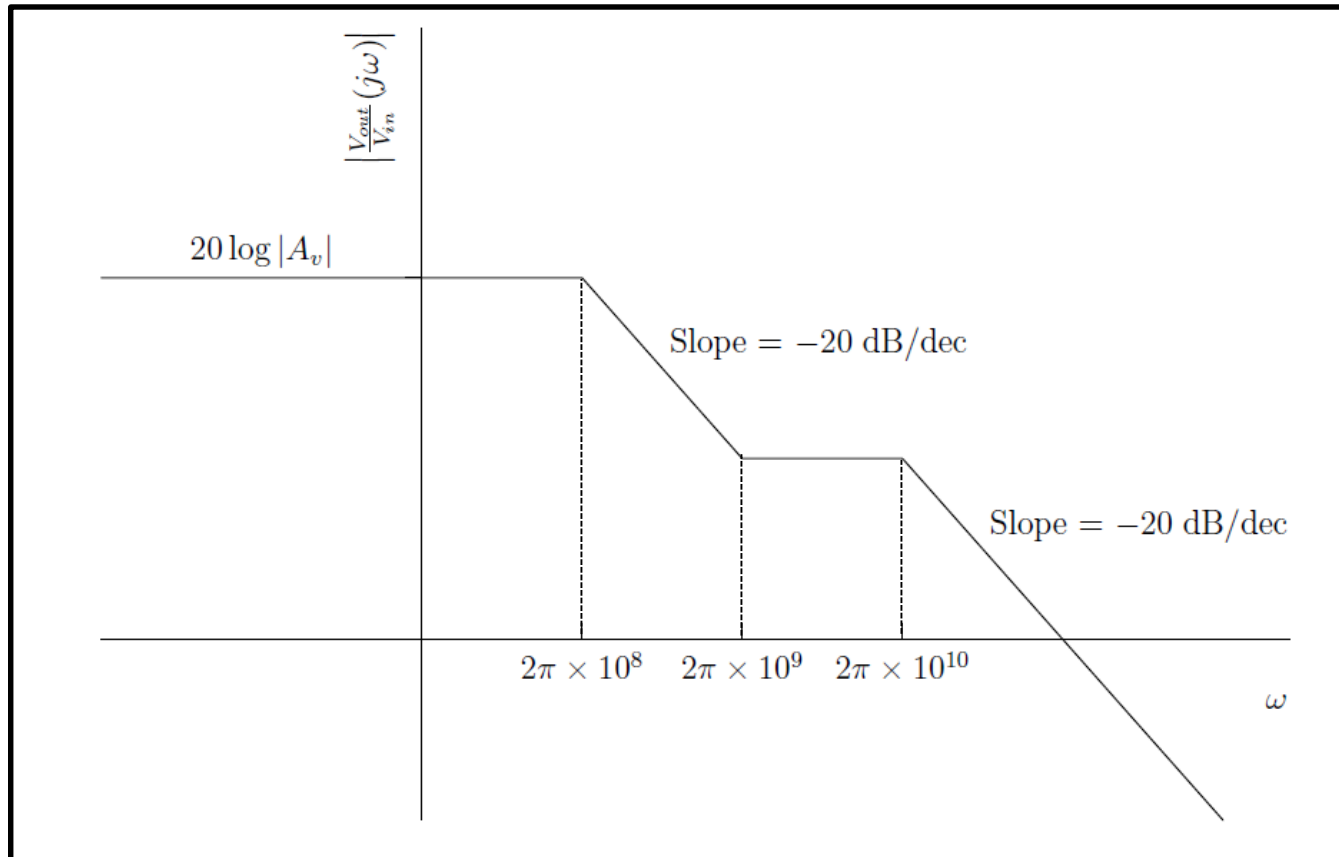
Gráfico de bode : Regras (aproximação)

- Cada zero na função de transferência $T(s)$ representa um aumento adicional de 20 dB por década no módulo a partir da freq. de quebra do zero.
- Cada pólo na função de transferência $T(s)$ representa uma queda adicional de 20 dB por década no módulo a partir da freq. de quebra do pólo.

$$T(s) = A_0 \frac{\left(1 + \frac{s}{\omega_{z1}}\right) \left(1 + \frac{s}{\omega_{z2}}\right) \dots}{\left(1 + \frac{s}{\omega_{p1}}\right) \left(1 + \frac{s}{\omega_{p2}}\right) \dots}$$

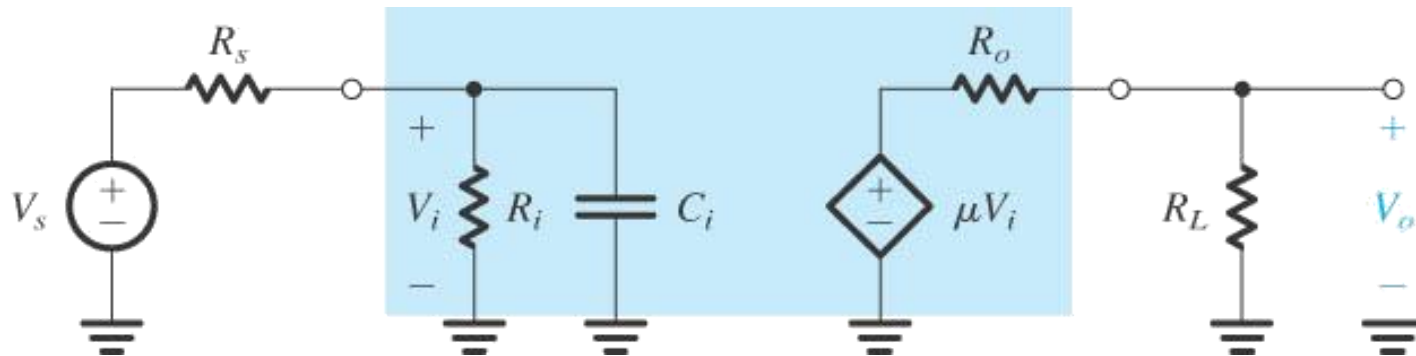
Amplificadores

Ex. 1 - Um amplificador possui dois *pólos*, um em 100 MHz e outro em 10 GHz, e um *zero* em 1 GHz. Construa o gráfico de Bode de $|V_{out}/V_{in}|$.



Resposta em Frequência

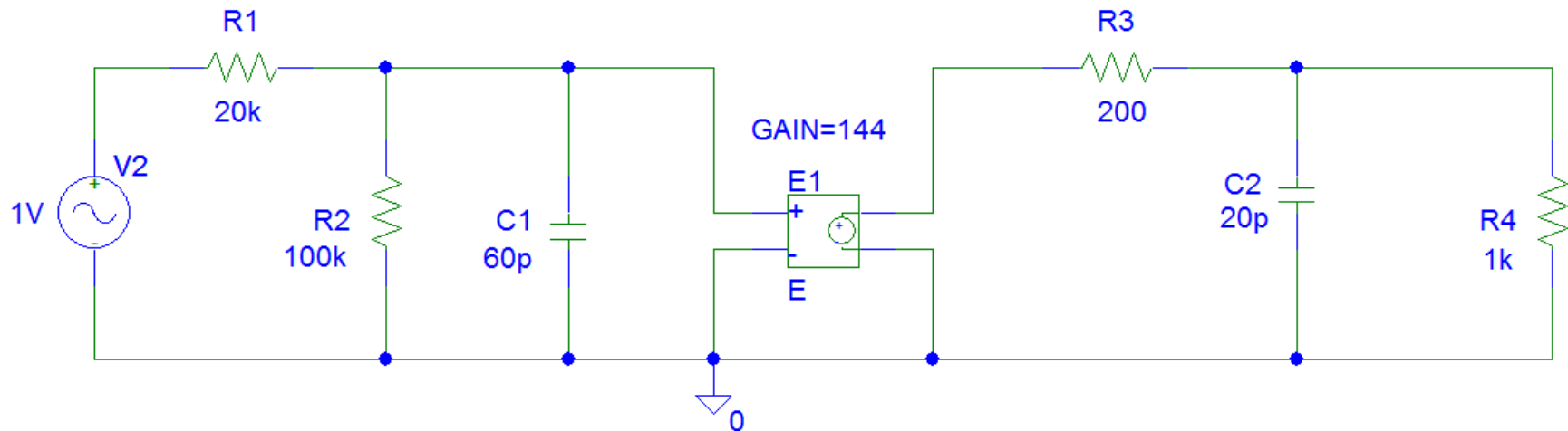
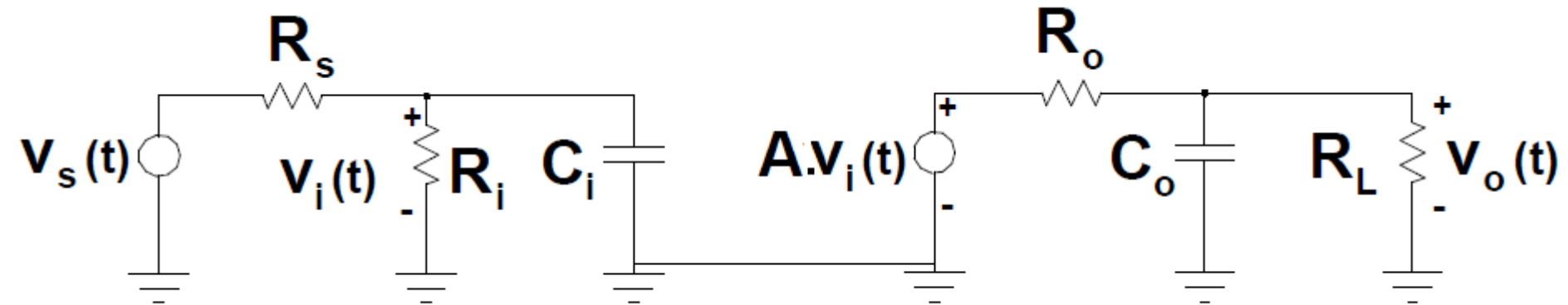
Ex. 2 - Encontrar a expressão do ganho de tensão V_o/V_s em função da frequência e a constante τ .



$$\frac{V_o}{V_s} = \mu \frac{R_i}{R_i + R_s} \frac{R_L}{R_o + R_L} \frac{1}{1 + sC_i(R_s \parallel R_i)}$$

Resposta em Frequência

Simulação SPICE



Resposta em Frequência

- Função de transferência

$$T(s) = \frac{V_o}{V_s} = \frac{AR_i}{R_i + R_s} \frac{R_L}{R_L + R_o} \frac{1}{1 + sC_i(R_i // R_s)} \frac{1}{1 + sC_o(R_L // R_o)}$$

- Função de transferência em regime permanente senoidal:

$$T(j\omega) = \frac{V_o}{V_s} = \frac{AR_i}{R_i + R_s} \frac{R_L}{R_L + R_o} \frac{1}{1 + j\omega C_i(R_i // R_s)} \frac{1}{1 + j\omega C_o(R_L // R_o)}$$

- Resposta em módulo:

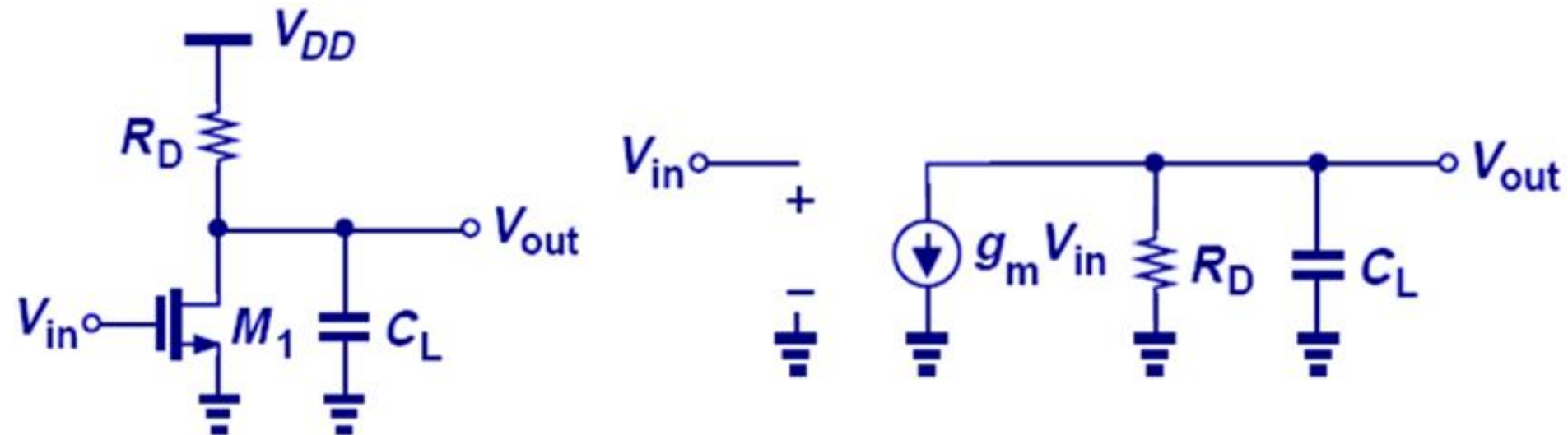
$$|T(j\omega)| = 20 \log \left\{ \frac{AR_i}{R_i + R_o} \frac{R_L}{R_L + R_o} \frac{1}{\sqrt{1 + [\omega C_i(R_i // R_s)]^2}} \frac{1}{\sqrt{1 + [\omega C_o(R_L // R_o)]^2}} \right\}$$

- Resposta e fase

$$\arg[T(\omega)] = -\tan^{-1}[\omega C_i(R_i // R_s)] - \tan^{-1}[\omega C_o(R_L // R_o)]$$

Amplificadores

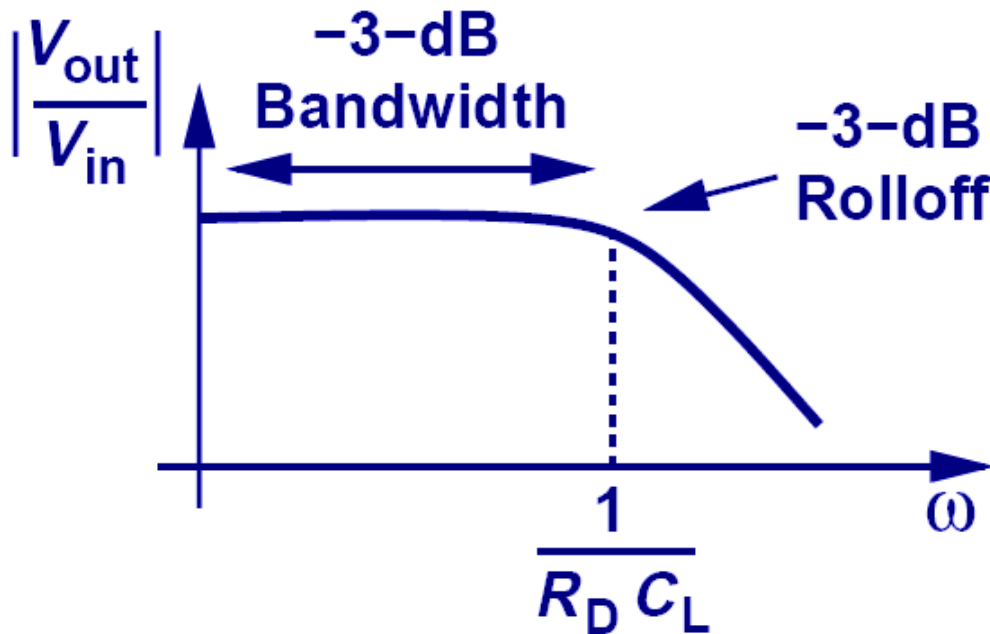
Decaimento do ganho do amplificador fonte comum em função da frequência



$$\frac{V_{out}}{V_{in}} = -g_m \left(R_D \parallel \frac{1}{sC_L} \right)$$

Amplificadores

Resposta em frequência do amplificador fonte comum



$$\frac{K}{1 + j(\omega/\omega_0)} \quad \frac{|K|}{\sqrt{1 + (\omega/\omega_0)^2}}$$

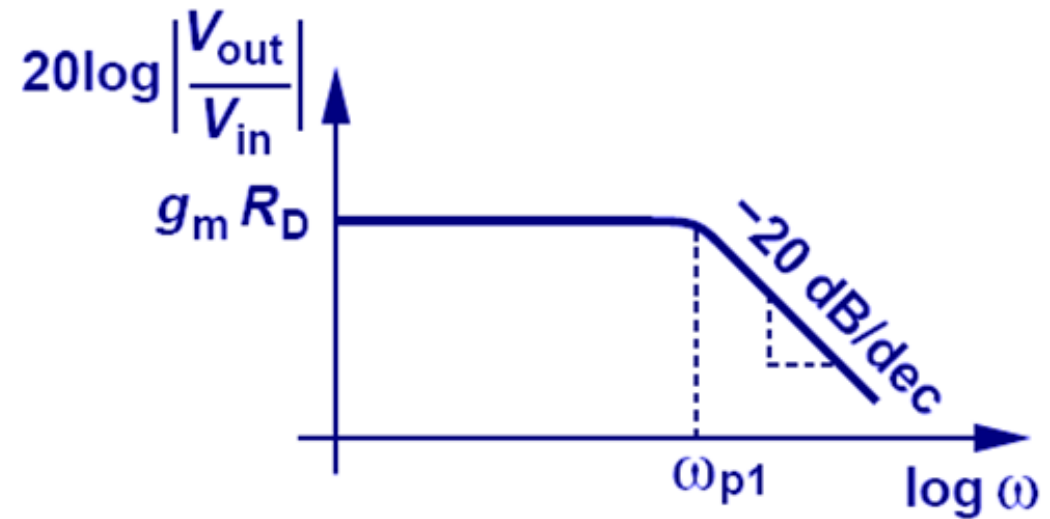
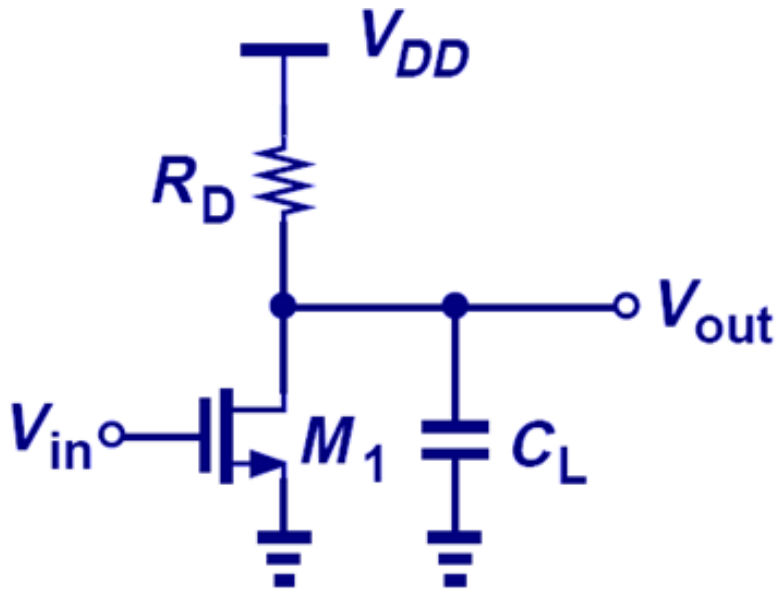
Módulo

$$\left| \frac{V_{out}}{V_{in}} \right| = \frac{g_m R_D}{\sqrt{R_D^2 C_L^2 \omega^2 + 1}}$$

➤ Quando $\omega = 1/(R_D C_L)$, o ganho diminui 3dB ($20\log(1/\sqrt{2})$)

Amplificadores

Usando o gráfico de Bode

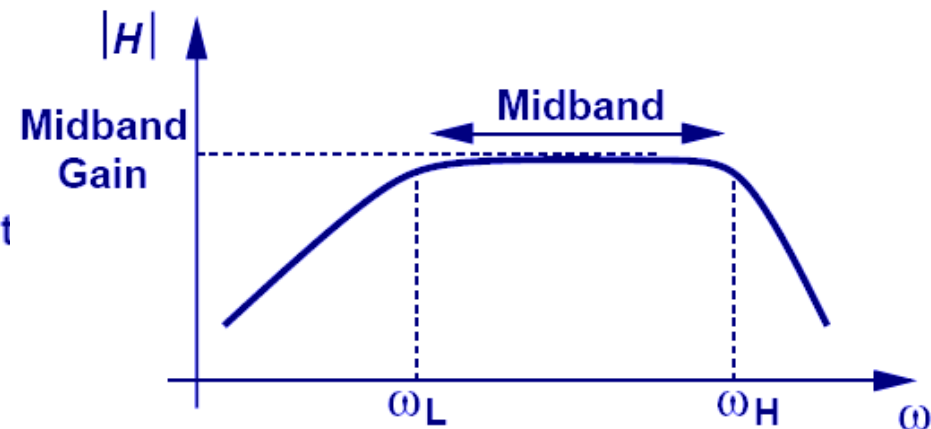
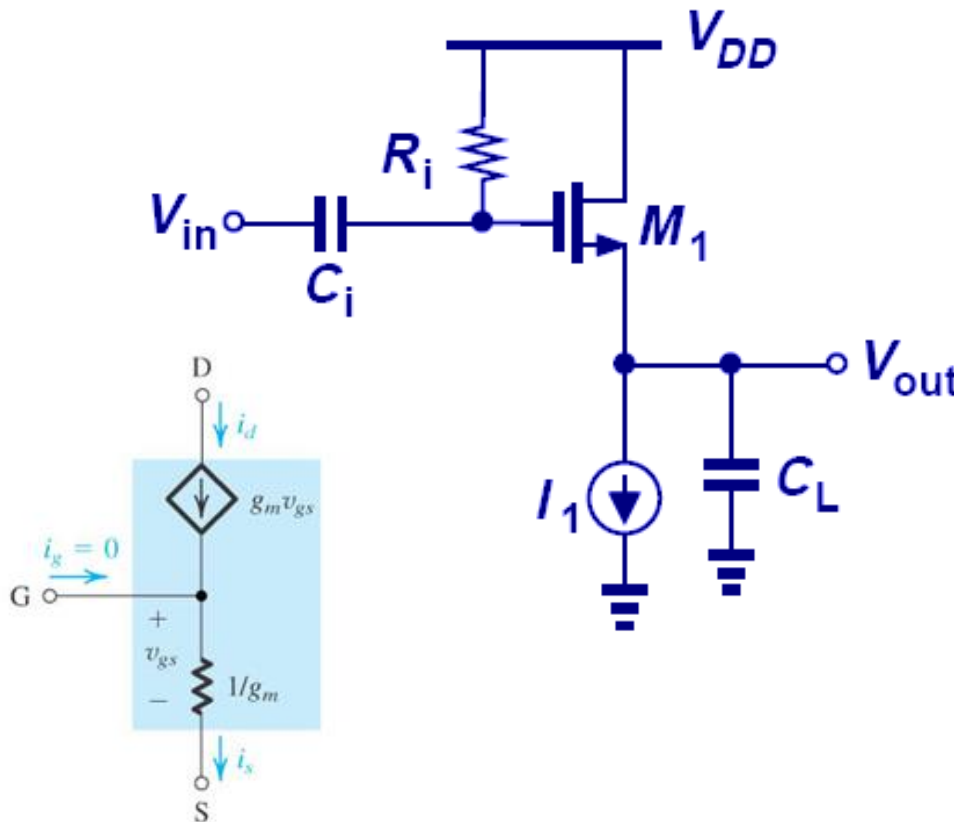


$$|\omega_{p1}| = \frac{1}{R_D C_L}$$

- O circuito tem apenas um pólo (nenhum zero) em $1/(R_D C_L)$, assim existe uma queda de 20dB/dec em ω_{p1}

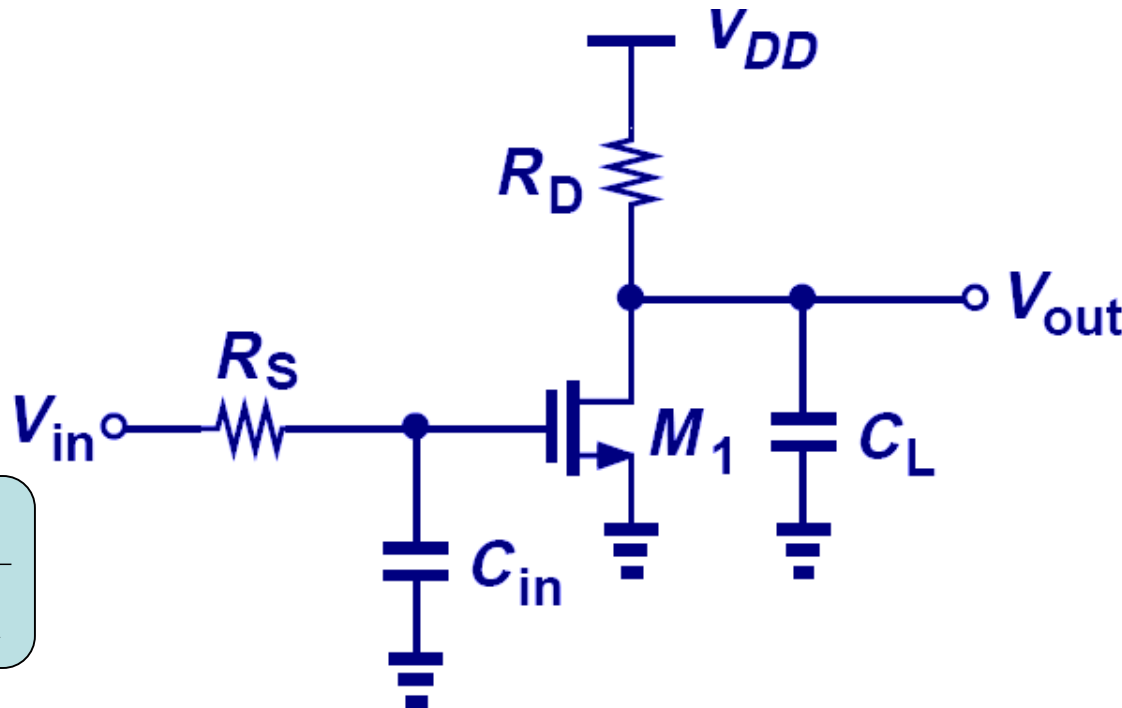
Resposta em Freq. e Amplificadores

Ex.3 – A figura abaixo apresenta um seguidor de fonte usado em amplificadores de áudio de alta qualidade. O resistor R_i estabelece uma polarização na porta em função de V_{DD} e I_1 define a corrente de polarização do dreno. Assumindo $\lambda = 0$, $g_m = 1/(200\ \Omega)$ e $R_i = 100\ \text{k}\Omega$, determine o mínimo valor de C_i e o máximo valor de C_L .



Amplificadores

Identificação de pólos em amplificadores



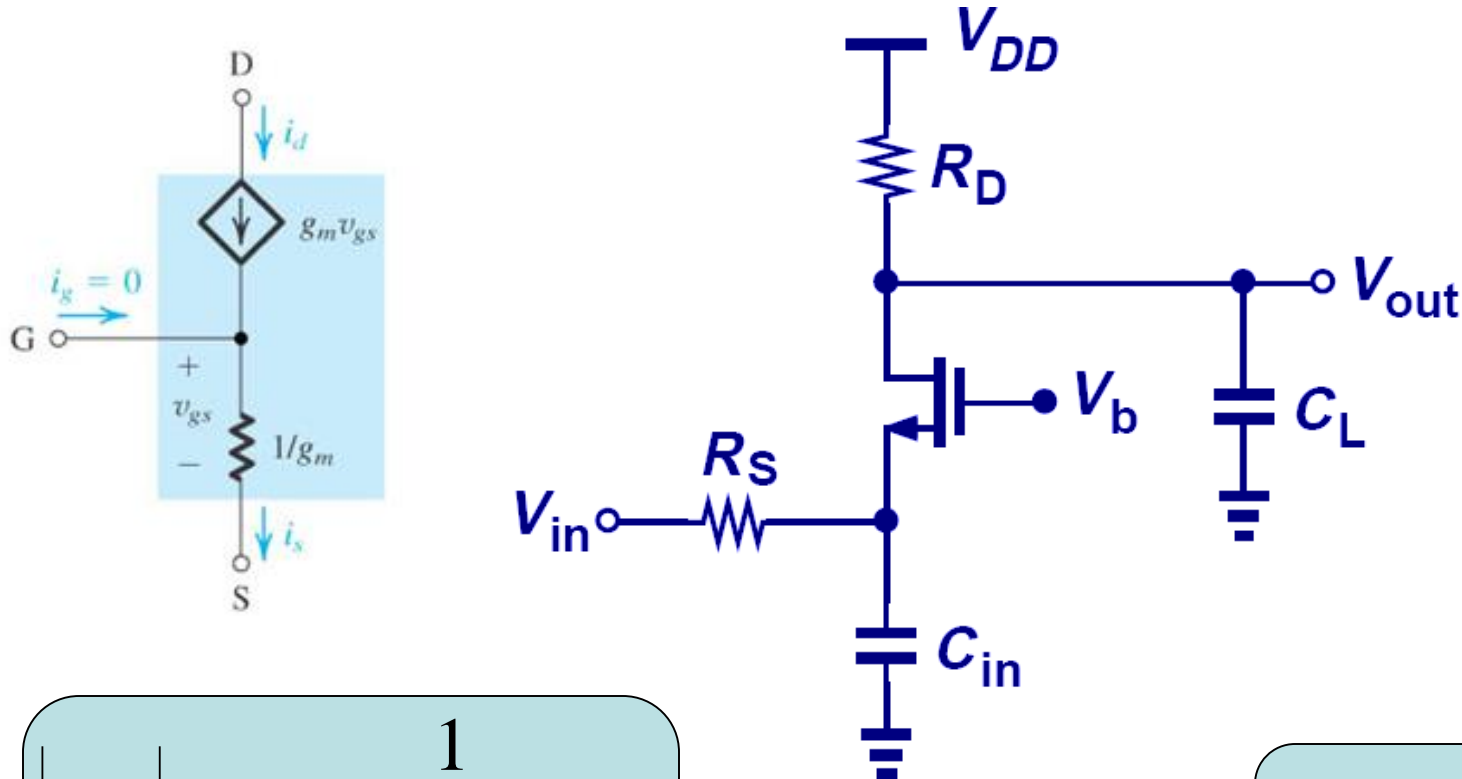
$$|\omega_{p1}| = \frac{1}{R_S C_{in}}$$

$$|\omega_{p2}| = \frac{1}{R_D C_L}$$

$$\left| \frac{V_{out}}{V_{in}} \right| = \frac{g_m R_D}{\sqrt{\left(1 + \omega^2 / \omega_{p1}^2\right) \left(1 + \omega^2 / \omega_{p2}^2\right)}}$$

Amplificadores

Identificação de pólos em amplificadores

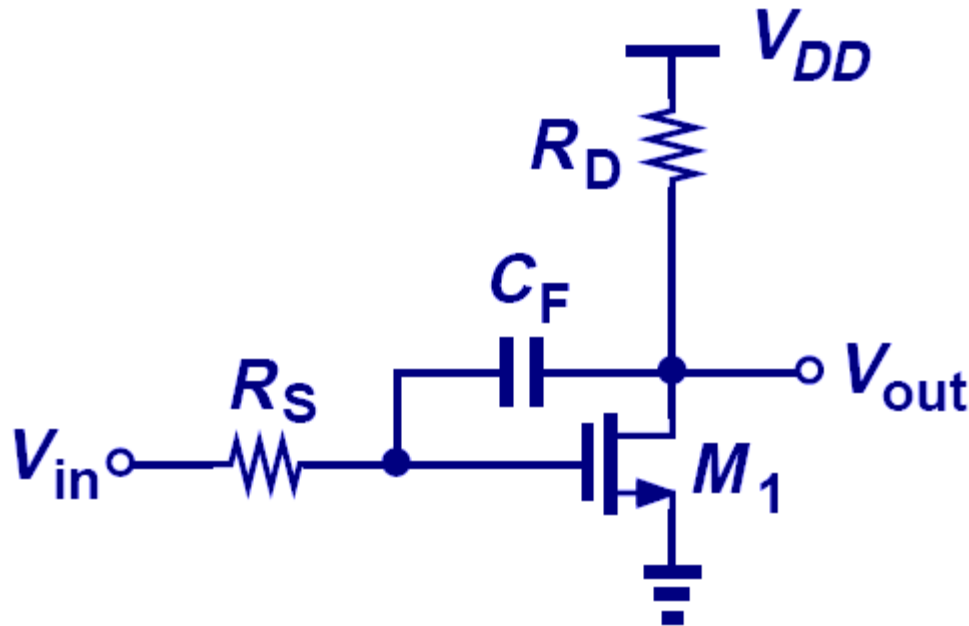


$$|\omega_{p1}| = \frac{1}{\left(R_S \parallel \frac{1}{g_m} \right) C_{in}}$$

$$|\omega_{p2}| = \frac{1}{R_D C_L}$$

Amplificadores

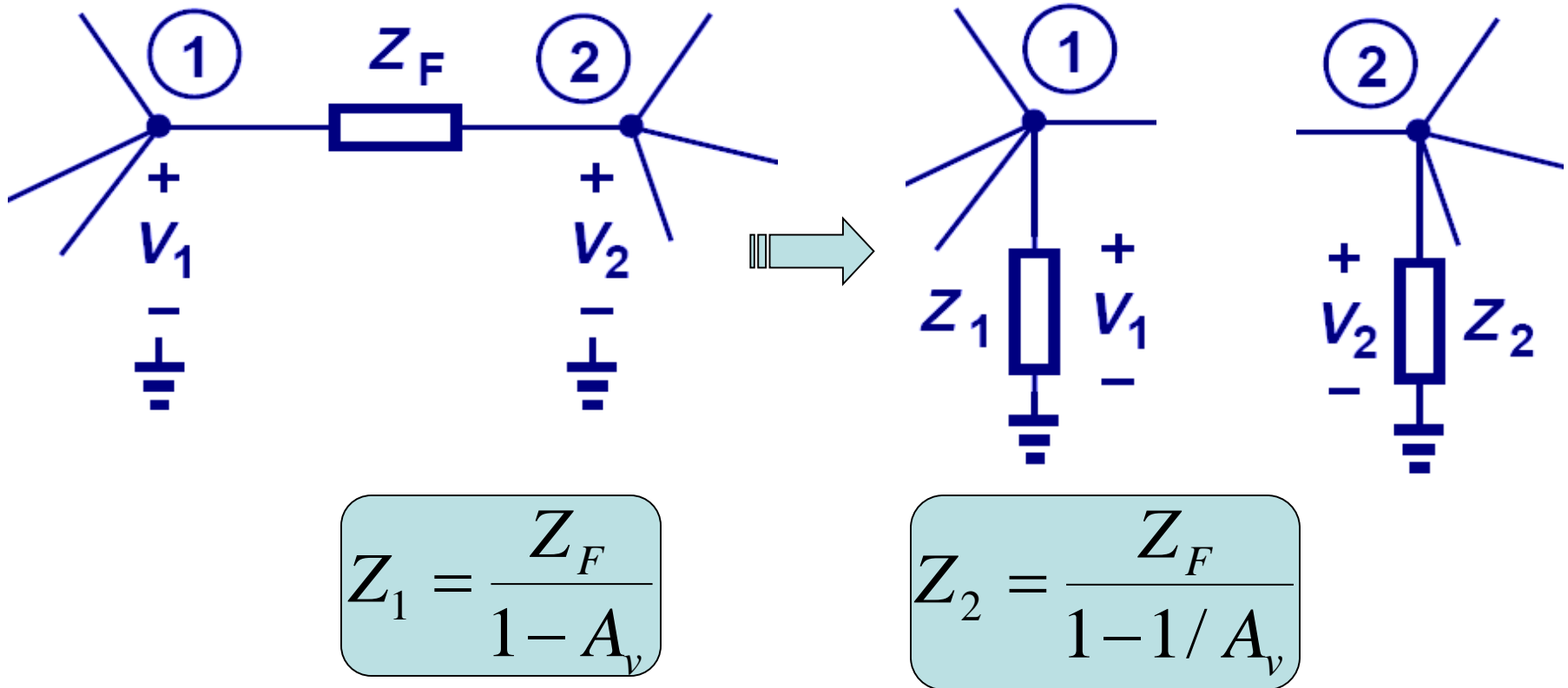
Identificação de pólos em amplificadores



- O pólo de um circuito é determinado encontrando-se a resistência e capacitância efetivas de um nó para o Terra!
- O capacitor C_F não tem nenhum terminal aterrado. E agora José?

Amplificadores

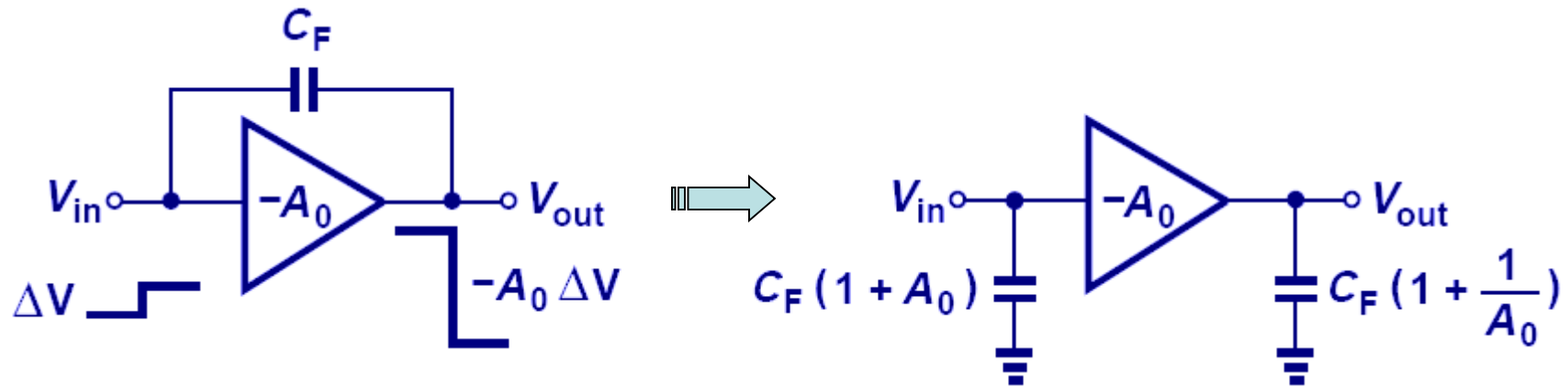
Teorema de Miller



➤ Se A_v é o ganho entre os nós 1 e 2 então a impedância Z_F pode ser convertida para as impedâncias Z_1 e Z_2 , aterradas!

Amplificadores

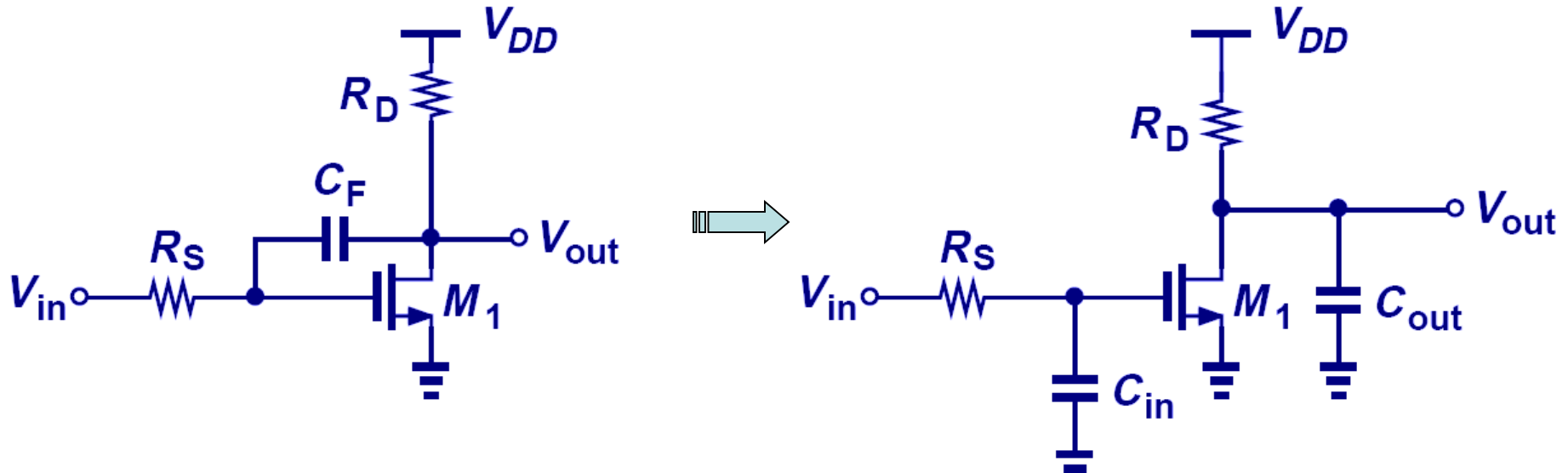
Teorema de Miller



- Com o teorema de Miller podemos separar o capacitor (impedância) de realimentação em dois capacitores.
- Nota-se porém que o capacitor resultante na entrada do circuito é muito maior que o original. Esse efeito é conhecido como multiplicação de Miller.

Amplificadores

Teorema de Miller

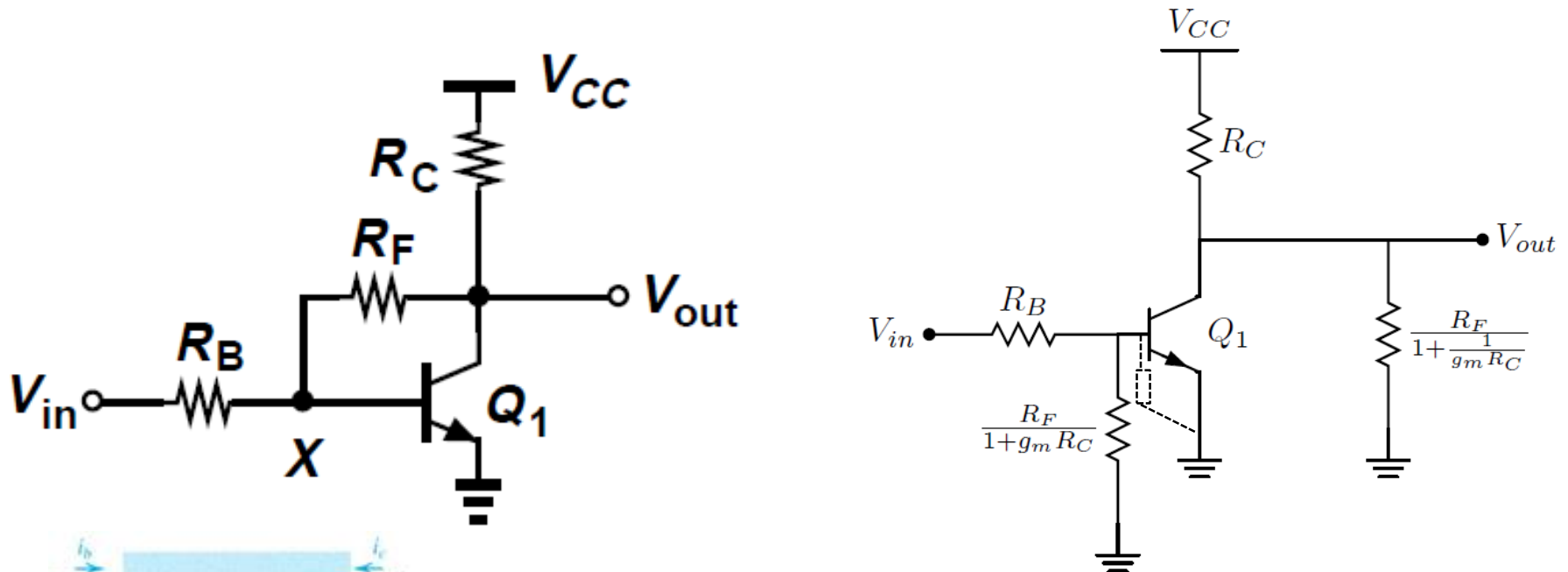


$$\omega_{in} = \frac{1}{R_S (1 + g_m R_D) C_F}$$

$$\omega_{out} = \frac{1}{R_D \left(1 + \frac{1}{g_m R_D} \right) C_F}$$

Amplificadores

Ex.4 – Usando o teorema de *Miller* estime o ganho de tensão do circuito abaixo. Assuma $V_A = \infty$ e o ganho $v_{out}/v_X = -g_m R_C$ (ou seja $R_F \gg 0$)



$$A_{vt} = -g_m \left(\frac{r_\pi \parallel \frac{R_F}{1 + g_m R_C}}{R_B + r_\pi \parallel \frac{R_F}{1 + g_m R_C}} \right) \left(R_C \parallel \frac{R_F}{1 + \frac{1}{g_m R_C}} \right)$$

Resposta em Freq. e Amplificadores

Sugestão de Estudo:

- Sedra & Smith **5ed.**

Cap. 4, item 4.5

Cap. 1, item 1.6

Apend. D, E

- Razavi. 2ed.

Cap. 11, até o item 11.1.6

Cap. 7 item 7.1

Exercícios correspondentes.